

¿QUÉ ES UN SISTEMA COMPLEJO?^{1, 2}

WHAT IS A COMPLEX SYSTEM?

Carlos Eduardo Maldonado^{3,4}

RESUMEN

Este artículo se propone, de manera puntual, comprender qué es un sistema complejo, para lo cual reflexiona alrededor de cuatro argumentos, así: 1) un sistema complejo se entiende en relación con una determinada filosofía del movimiento; 2) consiguientemente, esta filosofía del movimiento implica una cierta filosofía del tiempo; 3) sobre esta base, los sistemas complejos comportan una filosofía social, cultural, histórica o política y 4) los sistemas complejos definen, consiguientemente, una auténtica revolución científica en curso. Al final, se extraen algunas conclusiones puntuales.

Palabras clave: Complejidad, ciencias de la complejidad, revolución científica, cambio.

ABSTRACT

This paper is aimed at understanding accurately what a complex system is. In order to do so, four arguments are provided, thus: 1) a complex system is to be understood in relation to a determined philosophy of movement; 2) such a philosophy of movement entails a certain time philosophy; 3) on such a ground, complex systems, it is argued, point to a social, cultural, historic or political philosophy and 4) as a result, complex systems define an authentic scientific revolution. At the end some conclusions are drawn.

Key words: Complexity, sciences of complexity, scientific revolution, change

1 Recibido: 29 de agosto de 2014. Aceptado: 30 de octubre de 2014.

2 Este artículo se debe citar como: Maldonado, Carlos. "¿Qué es un sistema complejo?". *Rev. Colomb. Filos. Cienc.* 14.29 (2014): 71-93.

3 Facultad de Ciencia Política y Gobierno, Centro de Estudios Políticos e Internacionales (CEPI), Universidad del Rosario. Correo: carlos.maldonado@urosario.edu.co.

4 Bogotá, Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

Las ciencias de la complejidad estudian fenómenos, sistemas o comportamientos de complejidad *creciente*; esto es, fenómenos y sistemas que aprenden y se adaptan, y que, en el filo del caos o bien, lo que es equivalente, lejos del equilibrio, responden a la flecha del tiempo de la termodinámica del no-equilibrio (Nicholis & Prigogine 1994). Por consiguiente, *à la lettre*, no se ocupan de todos y cada uno de los fenómenos y sistemas del mundo, puesto que no todas las cosas son complejas y en numerosas ocasiones es incluso deseable que no lo sean o que no se vuelvan o hagan complejas. Vale decir, en el más riguroso de los sentidos de lo mejor de la filosofía de la ciencia que una teoría que lo explica todo no explica nada, y así, afirmar que “todo es complejo” equivale a una idea trivial, análoga acaso a la numerología o la astrología.

Asimismo, de otra parte, las ciencias de la complejidad no se interesan por los fenómenos, sistemas y comportamientos que son sencillamente complejos, pues existen sistemas de complejidad decreciente tanto como dinámicas de complejidad estable. Un sistema puede decirse que es “sencillamente complejo” en un corte sincrónico, al margen del tiempo y de la historia. Con toda seguridad, la distinción entre sistemas “sencillamente complejos” y fenómenos de complejidad reciente constituye el criterio de demarcación más claro entre las ciencias de la complejidad y otras áreas afines, próximas y vecinas.

Ahora bien, los sistemas de complejidad creciente han sido caracterizados en la bibliografía especializada sobre el tema de varias maneras. Así por ejemplo, como sistemas adaptativos –notablemente los CAS– (Gell-Mann 2003), como sistemas no-lineales, como sistemas emergentes, y varios más. De acuerdo con algún autor, existirían más de cuarenta y cinco definiciones de complejidad, solo hasta el año 1995 (Horgan 1995). A la fecha, sin dificultad, esta cifra puede aumentar a más de sesenta.

Esta observación es fundamental. La buena ciencia de punta no parte ya de definiciones ni trabaja tampoco con definiciones. Por el contrario, los buenos científicos parten de y trabajan con problemas. Ahora bien, uno de los *problemas* más apasionantes en ciencia como en la vida es: ¿por qué las cosas son o se vuelven complejas? Las ciencias de la complejidad se ocupan, de manera frontal, en responder esta pregunta y para ello han creado una variedad de ciencias, metodologías, lenguajes, enfoques, teorías y disciplinas; en una vitalidad fabulosa que es la expresión de un gusto y encanto por los temas y problemas de complejidad y, algo muy importante, incluso por su utilidad creciente en el mundo alrededor nuestro.

En otros espacios y momentos me he ocupado de ilustrar, tanto como de argumentar, en el sentido que se acaba de mencionar. En esta oportunidad quisiera, de manera puntual, abocarme a un problema, a saber: dilucidar de un modo puntual y novedoso qué es, en qué consiste y qué caracteriza a un fenómeno, sistema o comportamiento complejo. Para ello presentaré cuatro argumentos, así: en primer lugar, afirmo que un sistema complejo se entiende en relación con una determinada filosofía del movimiento; consiguientemente, en segunda instancia, esta filosofía del movimiento implica una cierta filosofía del tiempo. Sobre esta base, el tercer argumento afirma que los sistemas complejos comportan una filosofía social, cultural histórica o política. Finalmente, el cuarto argumento defiende que los sistemas complejos definen, consiguientemente, una auténtica revolución científica en curso. Al final se extraen algunas conclusiones puntuales.

2. LA COMPLEJIDAD IMPLICA Y AFIRMA UNA FILOSOFÍA DEL MOVIMIENTO

Los sistemas de complejidad creciente se caracterizan, de manera principal, por que presentan dinámicas irreversibles, súbitas, imprevisibles, aperiódicas; además, desde luego, de varios otros rasgos característicos. Pues bien, quiero sugerirlo, estos son exactamente los rasgos definitorios de la filosofía del movimiento de la complejidad.

La ciencia clásica sabe de movimiento, desde luego. De hecho, el mérito de la mecánica clásica y de Newton, en particular, consistió en haber estudiado el movimiento –al que originariamente denominó como “revoluciones celestes” –, y lograr explicarlo mediante cinco instrumentos: las tres leyes de Newton, y el cálculo integral y diferencial, históricamente concedido a Leibniz, a partir del famoso debate Newton-Leibniz (Rada 1980).

Sin embargo, los tipos de movimiento que le interesa y en el que se concentra la ciencia moderna son movimientos cíclicos, periódicos, regulares, predecibles, pendulares, en fin, controlables. Exactamente para eso fue inventado el cálculo, y toda la ciencia normal solo sabe de ciclos. Todo lo demás es lo de menos; esto es, se habla de ciclos más largo, o más breves, pero la lógica de la ciencia normal no sale de estos parámetros.

Entre las herramientas –matemáticas, conceptuales y otras– de la ciencia normal para estudiar el movimiento periódico se encuentra la ley de grandes números, la Campana de Gauss o la Curva de Bell, los estándares, las matrices, los análisis vectoriales, los promedios y la estadística en general (descriptiva e inferencial).

Hay que decirlo abiertamente. En esos casos no hay, para nada, complejidad (Odifredi 2006).

Si bien la ciencia moderna constituyó, como ha sido claramente reconocido en la bibliografía acerca de la historia y la filosofía de la ciencia, una revolución, dicha revolución, hay que decirlo, se conservatizó y perdió la fuerza y la vitalidad, la radicalidad y la novedad que alguna vez tuvo. Exactamente en eso consiste, por ejemplo, a la luz de la idea de “revoluciones científicas” el concepto mismo de ciencia normal: se elaboran numerosos y magníficos diagnósticos, pero es incapaz de resolver satisfactoriamente los retos, problemas y desafíos mismos al interior del marco general del paradigma tradicional y vigente. Kuhn denomina a esto una “anomalía”. Las bifurcaciones (Serres 1991) emergen en ciencia debido a la pérdida de vitalidad de las teorías, modelos y aproximaciones.

Pues bien, precisamente en este sentido asistimos hoy en día a una nueva, auténtica y novedosa revolución científica. Son numerosas sus características y expresiones. Por razones de espacio⁵ me concentraré aquí en la forma en que las ciencias de la complejidad al mismo tiempo participan y animan dicha revolución. Con una salvedad sobre la cual volveré más adelante. En este caso, se trata no ya única y principalmente de una revolución científica –en el sentido, por ejemplo de Kuhn–, sino, además y fundamentalmente, de una revolución social o cultural.

Los fenómenos, sistemas y comportamientos se caracterizan por una forma particular de movimiento. En contraste con el tipo de movimiento característico de la ciencia moderna y normal contemporánea, se trata de aquel movimiento que es súbito, imprevisto, irreversible y no-periódico.

En verdad, varias de las ciencias de la complejidad destacan, ya desde sus orígenes, el interés y la importancia por los fenómenos y comportamientos que exhiben esta clase de propiedades. Así, por ejemplo, la ciencia del caos identifica a los atractores extraños como el pivote de sus trabajos, y logra por primera vez en la historia el reconocimiento de que pequeños cambios imperceptibles iniciales tienen o pueden tener consecuencias imprevisibles cuya correspondencia es estricta (con respecto a las condiciones iniciales) (Scott 2007). En consecuencia, los fenómenos caóticos –una de las formas de comprender a los sistemas complejos– son clara y distintivamente aperiódicos. De hecho, la caoticidad consiste exactamente en la aperiodicidad en las dinámicas de un fenómeno, lo cual es identificado en la bibliografía en

5 Me he ocupado del tema más ampliamente en: Maldonado (2012a).

general como la presencia de distintos atractores: Atractor de Lorenz, Atractor de Hénon, y otros semejantes.

No afirmaré aquí que en la base de toda dimensión fractal existe un atractor extraño, pero sí cabe recabar en el hecho de que otra de las ciencias de la complejidad, a saber la teoría de catástrofes, pone justamente de manifiesto que las catástrofes consisten en eso: cambios súbitos, imprevistos e irreversibles, los cuales son identificados y estudiados con siete modelos originariamente desarrollados por R. Thom (1996). “Catástrofe” no tiene aquí ninguna acepción negativa, pues también existen catástrofes positivas y maravillosas, algo que se encuentra claramente indicado en la bibliografía sobre el tema.

Asimismo, es importante mencionar cómo la termodinámica del no-equilibrio, otra de las ciencias de la complejidad, pone de manifiesto que es justamente el hecho de que los fenómenos y sistemas se encuentran lejos del equilibrio por lo que son posibles estructuras y dinámicas de autoorganización y, no en última instancia, la vida misma en el planeta (Ben-Naim 2011). El concepto técnico que se emplea en termodinámica del no-equilibrio para esos fenómenos cuya dinámica es alejarse del equilibrio es el de estructuras disipativas, y los ejemplos y casos estudiados son numerosos.

Ahora bien, que un fenómeno determinado se encuentre alejado del equilibrio es igualmente concebido como que está en el filo del caos, y en cualquier caso de lo que se trata es del reconocimiento explícito de que los fenómenos complejos ni apuntan al equilibrio –en cualquier acepción de la palabra–, ni tampoco se concentran en él. Todo lo contrario, es porque o bien están alejados del equilibrio o bien se alejan del mismo por lo que adquieren precisamente el carácter de complejos. La termodinámica del no-equilibrio es la primera de las ciencias contemporáneas que permite razonable, pero sólidamente, la identificación entre sistemas vivos y sistemas con equilibrios dinámicos; otro nombre para designar esa clase de estructuras y dinámicas que, en sentido estricto, coinciden con y se fundan en la evolución.

Ahora bien, cuando se habla de *evolución* es fundamental no identificar evolución con *cambio, progreso, dinámica* y demás, como es habitualmente el caso. Por el contrario, la estructura de la evolución descansa en equilibrios puntuados, que son justamente inflexiones que se producen en los fenómenos y en la historia de los fenómenos, gracias a los cuales existe aprendizaje y adaptación. Así las cosas, un fenómeno complejo es aquel que exhibe propiedades de adaptación y aprendizaje como consecuencia de inflexiones –por definición imprevistas y dramáticas–. Vale decir que no todos los sistemas o fenómenos aprenden o se adaptan.

Como se observa sin dificultad, la complejidad misma de un fenómeno radica, por tanto, en el hecho de que sus dinámicas y estructuras no pueden ser reducidas a explicaciones ni gestiones de tipo cíclico, periódico, regular o previsible. Al contrario, allí donde estas características son posibles y están presentes podemos afirmar con seguridad que o bien la complejidad ha sido suprimida, o bien no existe (aún) ninguna complejidad.

En este sentido, las herramientas habituales de la ciencia, tales como la planeación –en cualquiera de sus acepciones, y muy sintomáticamente la planeación estratégica–, la prospectiva, los estudios de futuro, y otras semejantes y próximas no saben absolutamente nada de complejidad y son, al cabo, ineficientes e ineficaces cuando se trata de comprender, explicar y vivir en medio de fenómenos de complejidad creciente.

Pues bien, existe una forma adicional relacionada con los movimientos y dinámicas súbitas, imprevistas e irreversibles que son estudiadas en las ciencias de la complejidad. Se trata de la ciencia de redes que permiten, específicamente, estudiar redes libres de escala, fenómenos de percolación, irrupciones (*bursting*) y cascadas de errores, por ejemplo, todos los cuales no son sino conceptos, modelos y aproximaciones que explican magníficamente que es el entramado de redes el que convierte a un fenómeno, sistema o dinámica en complejo. No en última instancia, la teoría de mundo pequeño (*small world theory*), esto es, los grados de espacio, libertad o diferencia, las dinámicas de sincronidad y otros próximos y semejantes, dan lugar a estructuras no-periódicas ni cíclicas.

Así las cosas, la complejidad de un fenómeno o sistema radica exactamente en los contenidos y modos tanto de aleatoriedad como de la incertidumbre que tiene o exhibe, todo lo cual tiene un espacio perfectamente diferente a los estudios clásicos y estándar sobre probabilidad y estadística.

Como se observa sin dificultad, es la pasión, la dificultad, el carácter extraordinario, la atracción o el gusto por, dicho genéricamente, los movimientos y dinámicas irregulares, no pendulares y aperiódicas las que definen el tipo de trabajo de los complejólogos. Y es precisamente por ello por lo que, de manera explícita y directa, las ciencias de la complejidad implica una auténtica revolución en el conocimiento.

3. ACERCA DEL TIEMPO O TIEMPOS DE LA COMPLEJIDAD

Vivimos un universo no-ergódico, esto es, irrepitable. Mientras que la física newtoniana no sabe de la flecha del tiempo y, en consecuencia, o bien descuenta el tiempo, o bien el pasado y el futuro son indistinguibles, los fenómenos

complejos, si puede decirse así, consisten en una cosa: el tiempo mismo es la complejidad, es el tiempo el que complejiza los fenómenos, las dinámicas y las estructuras, y el tiempo significa claramente la flecha de la irreversibilidad. En otras palabras, el pasado es *cualitativamente* diferente del futuro.

Esta idea puede ser entendida en más de un sentido. De un lado, se trata del hecho de que los sistemas complejos no son deterministas. El determinismo es aquella concepción que sostiene que el pasado determina el presente, que conocido el origen de un fenómeno y la línea de tiempo que del pasado conduce al presente, *entonces* es posible anticipar o predecir el futuro. En otras palabras, el determinismo sostiene que el futuro está contenido y anticipado –prefijado, si e prefiere– en el pasado y en la línea de tiempo que del pasado conduce al presente. De otro modo, cabe decir que el pasado contiene al futuro específicamente como potencialidad o virtualidad y que de los muchos futuros posibles solo se realizan algunos; de ahí la indeterminación originada en la contingencia histórica (Cfr. Andrade 2014).

Lo anterior quiere decir que en aquellas situaciones en las que el tiempo no puede ser descontado –el tiempo se descuenta cuando sencillamente es considerado como una variable–, manifiesta y distintivamente aparece la complejidad. Si se quiere, desde otra perspectiva, es en tiempos de turbulencia y complejidad y en condiciones o momentos de inestabilidad cuando las herramientas, conceptos, métodos, enfoques, teorías y ciencias de la complejidad resultan útiles y provechosas (Maldonado 2012b).

Puede decirse que el tiempo es inventado o descubierto, prácticamente en paralelo, por dos ciencias radicalmente distintas, en el curso del siglo XIX. De un lado, la termodinámica y muy específicamente los desarrollos de L. Boltzmann permiten identificar una flecha del tiempo de carácter irreversible, con una observación puntual: a raíz de la crítica de Poincaré a Boltzmann este terminó por aceptar un tiempo ergódico después de haber postulado la flecha del tiempo. La flecha del tiempo de Boltzmann, así las cosas, no sería tan universal, sino, válida tan solo para los casos especiales de sistemas alejados del equilibrio (Cfr. Lombardi & Labarca 2005); que es justamente lo que interesa a la complejidad en sentido preciso.

Es la flecha del tiempo que coincide con y se funda en la segunda ley de la termodinámica, la ley de la entropía. De acuerdo con la misma, todos los fenómenos del mundo y la naturaleza están sujetos, absolutamente, esto es, en última instancia, por la tendencia que conduce a la pérdida, el agotamiento, el olvido, en fin al equilibrio. Así, la entropía consiste en la flecha del tiempo que apunta a la muerte informacional, térmica, gravitacional, y otras de todos los fenómenos y sistemas.

De manera casi paradójica, lo cierto es que casi al mismo tiempo, la teoría de la evolución de Darwin pone de manifiesto que, por el contrario, existe otra flecha del tiempo con una dirección radicalmente diferente, a saber, la flecha hacia la complejización creciente, la proliferación de formas y estructuras, la creación y la innovación, en fin, el aprendizaje y la adaptación. En sentido estricto, sin embargo, vale decir que la flecha del tiempo como complejización creciente es más bien lamarkiana, antes que darwiniana, y que esta última sería la flecha de la especiación, diversificación, ramificación permanente. Se trata justamente de la flecha del tiempo de la evolución; en otras palabras, de la vida.

Pues bien, podemos decir, sin ambages, que la complejidad del mundo de la naturaleza, de la sociedad y del universo consiste exactamente en las relaciones entre ambas flechas del tiempo, una que apunta al equilibrio y la muerte y la otra que se dirige hacia la vida y la exploración y creación de posibilidades de posibilidades.

Quisiera decirlo de manera puntual. En aquellas condiciones y momentos en los que un fenómeno determinado puede ser explicado atendiendo a su pasado e historia, prima el determinismo, y en esos casos, o bien existe muy baja complejidad, o ninguna. Por el contrario, los fenómenos, sistemas y estructuras caracterizados por complejidad son aquellos que no se explican sin el pasado, pero que son posibles a pesar del pasado. Así, la complejidad de los fenómenos radica en el futuro o futuros posibles que tienen o que pueden tener, y es justamente la evolución de ese o esos futuros lo que convierte a dichos fenómenos en complejos.

La complejidad de un sistema radica en el futuro o futuros posibles que tiene o puede tener y es, genéricamente, este futuro el que complejiza a los fenómenos en un momento determinado. Es el futuro o futuros lo que, por lo demás, permite comprender capacidades de los sistemas complejos tales como el aprendizaje y la adaptación, en fin, el hecho o la posibilidad misma de que un sistema determinado: a) esté vivo; o bien, b) se comporte como si estuviera vivo, o como un sistema vivo.

Si ello es así, entonces emergen nuevas metodologías y enfoques en complejidad que se hacen perfectamente necesarias. El título genérico en el que se sintetizan esas diversas metodologías es la simulación (Mitchell 2009). Así, los sistemas complejos pueden y deben ser simulados y la simulación apunta a la importancia del computador, de las ciencias computacionales y las herramientas y enfoques propios de la computación.

Digamos, solo de pasada, que entran aquí temas específicos como las metaheurísticas, los problemas P versus NP, las matemáticas de los sistemas

computacionales —las cuales son matemáticas de sistemas discretos—, y todo el trabajo en general sobre computación (Zwirn 2006).

De manera particular, cabe decirlo explícitamente: no existen dos clases de ciencias, o dos clases de métodos o de metodologías en ciencia (las ciencias empíricas y las ciencias deductivas, y los métodos cuantitativos y los métodos cualitativos). Y acaso, por derivación los métodos mixtos o híbridos entre ambos.

Por el contrario, más radical e innovadoramente existen, gracias a las ciencias de la complejidad, tres clases de ciencias y consiguientemente tres clases de métodos científicos. Estos son: las ciencia empíricas y deductivas, y las ciencias de la complejidad de una parte y de otra; los métodos propios de las ciencias de la complejidad incluyen al modelamiento y la simulación. En otro lugar me he ocupado de la distinción entre modelamiento y simulación (Maldonado & Gómez 2010).

Ahora bien, avanzando un paso adicional es preciso decir que, en realidad, los fenómenos y sistemas complejos no se caracterizan por tener un solo tiempo sino, mejor aún, una densidad temporal. Más exactamente, a mayor densidad temporal mayor complejidad; alguien más podría decir no sin acierto, “profundidad temporal”. Esta idea quiere significar que los fenómenos y sistemas complejos *poseen varios tiempos o temporalidades* y que es esto lo que define su complejidad.

Tabla 1: tiempos y escalas de la complejidad

Universo macroscópico	Universo microscópico	Ejemplo
Segundo = 1/60m	Mili = 10^{-3}	Unidad de tiempo en la clínica médica
Minuto = 1/60h	Micro = 10^{-6}	Unidad de tiempo en numerosos deportes
Día = 24 hs	Nano = 10^{-9}	Ritmo circadiano (en la Tierra)
Año = 365 ds	Pico = 10^{-12}	Unidad de tiempo básico de una vida humana
Siglo = 100 años	Femto = 10^{-15}	Unidad de tiempo básica en historia
Millón de años = 10^6 años	Atto = 10^{-18}	Unidad de tiempo básica en geología
Billón de años = 10^{12} años	Yocto = 10^{-24}	Unidad actual máxima de la edad del universo

Fuente: elaboración propia

Al respecto se impone una observación importante, a saber, cuando hablamos de universo macroscópico o microscópico no hay que pensar en absoluto,

únicamente, en tamaños, volúmenes o masas sino, por el contrario, justamente en tiempos. Así, los tiempos macroscópicos son bastante más lentos que los tiempos microscópicos.

Los tiempos indicados en la tabla 1 correspondientes al universo macroscópico son los tiempos común y corrientes conocidos por todos, dado un mínimo de información y de sentido común. Cabe señalar que el tránsito de la edad de la tierra o del universo de millones a billones de años sucede muy tardíamente (en el siglo XX), y que en la actualidad este constituye el límite dado que se calcula que el universo, en el que vivimos, tiene una edad aproximada de 10^{13} +/-200 años.

Por su parte, el universo microscópico se compone hasta el momento de las escalas milimétrica hasta yocto escalar, y es gracias a los más destacados desarrollos de la investigación científica reciente que es posible hablar de y trabajar con, por ejemplo, femtoquímica o femtobiología, y que, en cualquier caso, se trata de tiempos vertiginosos. El límite inferior del universo microscópico es la Escala de Planck que consiste en 10^{-43} segundos, que es el momento que coincide con el *Big Bang*.

Pues bien, quiero sostener la idea según la cual los fenómenos complejos consisten en una articulación (sincronizada, por definición) de diferentes escalas temporales. Esta idea ha sido desarrollada con detalle en (Maldonado & Gómez 2014).

Hay que decirlo francamente. Hasta la fecha, las ciencias sociales y humanas permanecen ajenas o indiferentes a las escalas microscópicas de la realidad y la casi totalidad de sus temas, campos, objetos y problemas son del orden exclusivamente macroscópico: territorio, Estado, sociedad, economía, medioambiente y muchas otras.

Al respecto, bien vale la pena atender a que los fenómenos más importantes en la vida de los seres humanos proceden siempre de la escala microscópica, pero se plasman, al cabo, en la escala macroscópica. Y en algunas ocasiones “al cabo” puede acaso ser ya muy tarde. Así por ejemplo, el sueño, la atención, la salud, la concentración, el placer, el dolor, la memoria y otros aspectos semejantes proceden todos de la escala microscópica; esto es, de tiempos que suceden entre pico y femto segundos muchos de ellos, a otros en micro segundos. Solo que de manera habitual, específicamente por razones de índole atávica, los seres humanos están acostumbrados a pensar y vivir –y por consiguiente a definir la realidad y lo que sea real– en términos macroscópicos: segundos, minutos, días y demás.

Pues bien, más exactamente la complejidad del mundo, la sociedad, la naturaleza y la vida consiste en los cruces, correspondencias, complementariedades,

simetrías y asimetrías, en la conmensurabilidad tanto como en la inconmensurabilidad entre tiempos, escalas y densidades temporales diferentes. Esta idea es fundamental a fin de comprender lo que significa “real” y “realidad”. Así, desde este punto de vista, la complejidad de un fenómeno estriba en las correspondencias –o no– entre escalas temporales, ritmos y velocidades diferentes, de cuyos entrelazamientos resulta tanto, de un lado, la comprensión acerca del carácter mismo de un fenómeno dado, como la estructura, la dinámica y las características ontológicas mismas del fenómeno considerado. Es exactamente esta imbricación de tiempos diversos, plurales los que definen la complejidad de un fenómeno (Maldonado & Gómez 2014).

En verdad, la concepción clásica de la realidad ha sido monista y simple, expresada en el artículo definido “la” (particularmente en los idiomas romances). La traducción política o ideológica de una concepción semejante de lo real consiste en el hecho de que existe entonces una visión única o predominante del mundo y la naturaleza en desmedro de otras (acaso alternativas o complementarias), y en la aceptación (acrítica) del poder. Quien define lo que es real impone una forma de poder sobre los demás. Y en este sentido las expresiones semánticas no dejan lugar a duda: “la ética”, “el estado”, “el ejército”, “el arte”, “la ciencia”, “la educación”, “la iglesia”, “la realidad”, “la verdad” y muchas otras.

Cabe advertir el peligro de expresiones semejantes. Como ha sido puesto de manifiesto hace ya un tiempo gracias a la tradición analítica en filosofía, *hacemos cosas con palabras* y, habitualmente, las palabras terminan definiendo y superponiéndose al mundo y a la vida. Nada más contrario y racio al espíritu mismo de la complejidad creciente del universo y nuestras vidas.

Si hay un rasgo amplio o transversal que caracterice a los sistemas complejos es el énfasis en diversidad, pluralidad, alteridad o multiplicidad (Page 2006). Los afanes reduccionistas son en verdad sueño ya soñado; o caracterizan, por lo demás, a la ciencia y la cultura normal: normal y normalizadas; normal y normalizantes.

Entre paréntesis, digamos que lo peor que se le puede hacer un ser humano no es callarlo, eliminarlo, expulsarlo o cosas semejantes. Por el contrario, lo peor que se le puede hacer a un ser humano es normalizarlo. Y existe numerosos mecanismos de normalización. Uno de ellos es hacerles creer que existe un único tipo de realidad, de estado, de verdad y demás. Extrapolando lo que decía Napoleón, un ser humano es un idiota útil; esto es, sabe lo que hace, es incluso feliz con lo que hace, pero no sabe por qué hace lo que hace o para qué o hacia dónde va con lo que hace. La religión, la educación, la ética y el derecho son altamente eficientes y eficaces, aunque no son los únicos, en los procesos de normalización de los seres humanos.

Como se aprecia, fácilmente, un tipo particular de movimiento, una comprensión específica del tiempo y la temporalidad y la idea precisa de que se trata de fenómenos, sistemas y comportamientos de complejidad *creciente* son los que definen y caracterizan a las ciencias de la complejidad. Este es, por lo demás, uno de los rasgos que permiten comprender por qué razón en la sociedad y las instituciones se ha asimilado mucho mejor y más fácil, y cómodamente al *pensamiento complejo* y no a las *ciencias de la complejidad*. La expresión “pensamiento complejo” hace referencia a las ideas de E. Morin y sus seguidores, los cuales, en su mayoría, son reacios o recelosos a cualquier atisbo de “ciencias de la complejidad”, y a) confunden el concepto de ciencia clásica con el propio de las ciencias de la complejidad, y b) tienden a creer, erróneamente, que las ciencias de la complejidad son específicamente computacionales. La verdad es que epistemológica, filosófica y científicamente el pensamiento complejo se deriva o se fundamenta en las ciencias de la complejidad.

Ahora bien, con respecto a la distinción entre pensamiento y ciencias de la complejidad, cabe decir, de manera puntual, tres cosas, así: en primer lugar, los conocimientos de ciencia en general por parte del pensamiento complejo son altamente cuestionables y muy frágiles. Reynoso ha llamado fuertemente la atención sobre este aspecto (Reynoso 2009); en segunda instancia, el pensamiento complejo es eminentemente antropocéntrico, antropológico y antropomórfico. Morin sitúa al hombre en la cima de la creación o de la evolución. En contraste, las ciencias de la complejidad son manifiestamente más ecocéntricas o biocéntricas; finalmente, el tercer rasgo distintivo radica en que el pensamiento complejo sostiene que todas las cosas son complejas. Por el contrario, en sana filosofía de la ciencia cabe decir que una teoría que lo explica todo no explica nada y que, así las cosas, no todas las cosas son complejas e incluso en determinados momentos y para determinados efectos es inclusive necesario y preferible que algunas cosas no sean complejas. En este sentido, justamente, distinguimos entre sistemas simples, sistemas complicados y sistemas complejos. Las ciencias de la complejidad solo se ocupan de los terceros.

Pues bien, la idea misma de la temporalidad señalada anteriormente permite sostener que los sistemas complejos se definen directa y proporcionalmente por los grados de libertad que tienen o que exhiben. Más exactamente, la complejidad de un fenómeno o sistema es directamente proporcional a los grados de libertad del sistema, de tal suerte que a mayores grados de libertad mayor complejidad e inversamente a menores grados de libertad, menor complejidad (Baadi & Politi 1997).

Como es sabido, el concepto de “grados de libertad” tiene su origen y significación en matemáticas y física. Pero cuando es traslapado a las ciencias sociales y

humanas se torna magníficamente sugestivo. Un fenómeno o sistema se define por los grados de libertad en el sentido preciso de que se trata del número de parámetros de un sistema que pueden variar independientemente entre sí. Esta idea es fundamental, pues permite entender que la parametrización no es en el estudio de los fenómenos complejos no-lineales un asunto simple o mecánico.

Puede decirse que ciertamente un sistema complejo tiene un número alto o elevado de parámetros, lo cual, sin embargo, no permite afirmar sin más que mayor número de parámetros implica necesariamente mayor complejidad. Los aspectos técnicos de esta consideración deben permanecer aquí al margen por razones de delimitación del tema. Por lo pronto, es suficiente con la idea general y ella nos permite una mejor comprensión o asimilación de en qué consiste un fenómeno complejo, que es aquí el foco de nuestro interés.

4. RUPTURA, CRISIS Y OPORTUNIDAD

Hay que decirlo francamente, la masa crítica en torno a la complejidad está creciendo de manera significativa alrededor del mundo. Asimismo, el interés en torno a las ciencias de la complejidad es pujante, con numerosos frentes. Ambas circunstancias demandan y permiten a la vez una atención acerca de la educación en complejidad y lo que podemos denominar las pedagogías de la complejidad.

Ello no obstante, es evidente que las ciencias de la complejidad dan lugar a una auténtica ruptura epistemológica, científica y cultural. Digámoslo de manera puntual. No es cierto que existan dos clases de ciencia, ciencia empírica o por inducción y ciencia deductiva. Correspondientemente tampoco es cierto, en absoluto, que existan dos clases de métodos científicos: los métodos cualitativos y los métodos cuantitativos. Y claro, como muchos abogan recientemente, los métodos híbridos o mixtos –entre ambos–.

Por el contrario, existen, hoy por hoy, tres clases de ciencia: la ciencia empírica, la ciencia deductiva y la ciencia por modelamiento y simulación. Y correspondientemente existen tres clases de métodos científicos: aquellos propios del pasado, los métodos cualitativos y los cuantitativos, y los métodos de punta actuales y hacia el futuro, a saber: el modelamiento y la simulación.

No es, sin embargo, este el lugar para caracterizarlos de manera puntual. Por el contrario, quisiera dirigir la atención hacia otro aspecto, a saber, la consideración de la ruptura, la crisis y las oportunidades que constituyen las ciencias de la complejidad, un tema sobre el cual poco o nada se ha dicho alguna palabra en la bibliografía especializada.

Las adaptaciones de un organismo vivo no se pueden establecer de antemano (*cannot be prestatd*). En términos más directos, la planeación en sus diversos tipos –notablemente la planeación estratégica, la prospectiva y demás–, no son pertinentes para los sistemas complejos; o lo que es equivalente, allí en donde esas herramientas –entre varias otras– son válidas y verdaderas no tienen lugar los sistemas complejos. Esto significa que las ciencias de la complejidad no son ciencias de lo real sino, mejor aún, son *ciencias de lo posible*. Es precisamente por ello por lo que el modelamiento y la simulación adquieren toda su significación en el sentido más fuerte, pero amplio de la palabra.

El rasgo distintivo de los sistemas complejos consiste en una impronta de aleatoriedad, incertidumbre, impredecibilidad y no-algoritmicidad que son tanto inescapables como irreducibles. En contraste con estas características del mundo o de los acontecimientos en cualquier plano que se desee –social o natural–, la ciencia normal trabaja con predicciones retrospectivas. En otras palabras, en términos más elementales, la ciencia normal reconstruye parcialmente el pasado, pero no predice ni puede anticipar el futuro. Es decir, el mundo va siempre por delante y la ciencia va a la zaga. Las predicciones retrospectivas son, en verdad, bastante poco inteligentes, pues bien puede suceder, como es efectivamente el caso en la gran mayoría de las veces, que “al cabo” la predicción retrospectiva llegue tarde, y un gran costo de energía, de tiempo o humano puede haber estado en juego entre tanto.

Justamente por ello las ciencias de la complejidad implican una auténtica y radical revolución. Su acervo más fuerte consiste en la incorporación de otras lógicas perfectamente distintas a la lógica formal clásica, que son, en general, las lógicas no-clásicas. Asimismo, al tiempo que trabajan con modelamiento y simulación, toman por consiguiente como hilo conductor, si cabe la expresión, no ya la heurística de un problema sino, mucho mejor, el trabajo con metaheurísticas.

Y sin la menor duda, la columna vertebral de la complejidad consiste en el trabajo con los problemas P versus NP, esto es, la identificación de la clase de problemas con que trabaja la ciencia en general y que en el mundo, la sociedad y el universo enfrentan los seres humanos.

Es evidente que estos son temas, abordajes, desarrollos nuevos frente a los cuales la educación en general, la cultura básica de la sociedad y la ciencia normal misma poco y nada saben.

De aquí que se impone, por razones al mismo tiempo éticas o morales e intelectuales, la tarea de una educación amplia –esto es democrática–, y de la máxima calidad que logre situar a la sociedad en la medida de lo posible en

la punta del conocimiento. Sin la menor duda, el destino de amplios grupos humanos dependerá del tipo de conocimiento al que tienen alcance. Esta idea puede ser expresada de manera puntual en los siguientes términos.

La economía política del conocimiento se ocupa, dicho en general, del tipo de bienes –esto es, información, conocimiento, cultura, ciencia y tecnología– que una sociedad o un pueblo: consumen, distribuyen, circulan, acumulan, y producen en un momento determinado, de cara, al mismo tiempo, a la historia y la tradición, y a los desarrollos de punta en el conocimiento. Pues bien, quiero sostener la tesis según la cual la calidad de vida de los individuos y las sociedades es directamente proporcional al tipo de conocimiento al que tienen alcance en los términos mencionados. Y con toda seguridad, las ciencias de la complejidad representan una excelente muestra con mucha vitalidad y desarrollo, que se corresponde perfectamente con lo mejor del conocimiento en el mundo que hoy por hoy se produce y circula.

Así las cosas, la formación, la socialización y el desarrollo en y desde, por y hacia las ciencias de la complejidad constituye, manifiestamente, una magnífica oportunidad para los individuos, las comunidades, las naciones y los pueblos en los marcos de turbulencia, inestabilidad, impredecibilidad definitiva o relativa y fluctuaciones del mundo que vivimos.

Mil y una veces se ha dicho que vivimos un cuello de botella a nivel civilizatorio o, lo que es equivalente, tiempos de transición. Soy optimista acerca del presente y del futuro que verosíblemente podemos entrever, soñar o imaginar. Nunca antes como hoy han existido tantos científicos y tecnólogos, jamás habíamos literalmente vivido una era de la información y, ciertamente, que las tecnologías convergentes –llamadas de manera puntual tecnologías NBIC+S⁶– permiten pensar, razonablemente, una sociedad y un mundo con más y mejores oportunidades, fundado en más y mejor información y conocimiento. En fin, un espíritu más crítico, reflexivo, deliberante y proactivo gracias precisamente a los fenómenos, dinámicas y transformaciones en curso en el orden de la educación en ciencia y tecnología, en el sentido al mismo tiempo más amplio, sólido e incluyente de la palabra.

Como ha quedado ya claro en la historia y la filosofía de la ciencia, las crisis en la ciencia –esto es, los quiebres de los paradigmas vigentes y la irrupción de anomalías en los mismos y, por tanto, entonces la emergencia de nuevos paradigmas o revoluciones científicas–, radica esencialmente en la incapacidad

⁶ Me refiero, como es sabido, a las nanotecnologías, las tecnologías de la vida (biotecnologías), las tecnologías de la información y las del conocimiento, y a la dimensión social de todas las anteriores.

—digámoslo aún con más fuerza— en la inutilidad de la ciencia normal vigente, en la inutilidad de la “corriente principal” (*mainstream*) de pensamiento para comprender y resolver los problemas, teóricos y prácticos con que se enfrenta el ser humano (Holland 2014).

Tenemos numerosos ejemplos y la lista podría hacerse prácticamente innumerable. Se trata, por ejemplo, de la crisis de la ciencia actual para resolver el calentamiento global, la generación de productos de ciclo corto de vida, el hiperconsumismo, la inequidad y la pobreza, las injusticias y la luchas con la violencia —abierta, o de baja intensidad—, los conflictos militares, la crisis financiera global con sus dramáticas consecuencias sociales, el salvamento absurdo de los bancos en desmedro del cuidado y la atención a la gente, la burocracia del Estado contemporáneo, la integración de la teoría de la relatividad y la física cuántica, y muchos más.

Así, por ejemplo, las mejores mentes del planeta no vieron llegar la crisis económica y financiera actual, y tampoco saben cómo salir de ella, a pesar de los encuentros periódicos en diversos escenarios (Davos, bancos centrales regionales o nacionales, los grandes entes rectores de la economía mundial, el FMI, el BM, o la OMC). La casuística podría ser prolija en este plano y en varios más.

Como quiera que sea, la crisis del mundo actual es en buena parte la crisis misma de los modos y modelos estándar de la educación, la ciencia y la tecnología. Esos modelos que podemos apropiadamente caracterizar como de ciencia normal, ya dieron todo lo que podían dar, y ya no pueden decir más de lo que ya dijeron.

Pues bien, es precisamente en medio de estas circunstancias que cobra todo el sentido preguntarse acerca de la complejidad del mundo, de la realidad y de los tiempos que vivimos. Dicha complejidad descansa justamente en rasgos como impredecibilidad, esto es, específicamente, impredecibilidad a largo plazo, turbulencias y fluctuaciones, cambios súbitos, entrelazamientos de cascadas de errores, irrupción de acontecimientos que no cabía anticipar antes que emergieran, incertidumbre y aleatoriedad, y definitivamente la ausencia de parámetros y criterios claros acerca de la búsqueda de soluciones. Esto se denomina técnicamente en complejidad como el carácter no-algorítmico de los más importantes, acuciantes, sensibles y riesgosos problemas que afrontamos hoy en día en la sociedad tanto como en la comunidad académica, en las organizaciones tanto como en la comunidad científica.

Pues bien, la mejor manera de resolver un problema consiste en (re)crearlo. El modelamiento y la simulación permiten justamente la (re)creación del

problema de que se trata. Mejor aún, cabe recordar una idea que en un contexto diferente al de complejidad formulara Einstein.

De acuerdo con Einstein, un problema (cualquiera) no se puede resolver al interior del marco en el que surge el problema. Esto quiere decir que si se intenta abordar e incluso si se “soluciona” el problema sin transformar el marco en el que surgió en realidad no se ha resuelto nada.

El marco hace referencia al conjunto amplio de circunstancias, teorías, cultura, epistemología, relaciones sociales y de poder, lenguaje e historia, por ejemplo, que son los que, en un primer momento, dan origen a un problema. Y muy radicalmente, en otro momento, deben ser cambiados o transformados, incluso, por qué no, eliminados algunos, a fin de resolver el problema de que se trata.

En este sentido, podemos decir que la ciencia normal no resuelve problemas, aun cuando permita hacer cosas. Esto es, la ciencia normal se define entonces simplemente por criterios de eficacia y eficiencia, pero en absoluto en términos de innovación. Esta idea comporta un alcance aún más significativo: la mejor manera de resolver un problema consiste en innovar, e innovar es una de las maneras de resolución de problemas. La dificultad enorme estriba en que en prácticamente todas las escalas de la sociedad y el sector privado, el sector público y la ciencia y la educación casi todo el mundo habla de innovación, pero la verdad es que le tienen pánico a los cambios, las transformaciones.

La ciencia y la cultura, así, son mecanismos esencialmente conservadores. Exactamente como lo es el derecho, la ética o la educación. En otras palabras, la innovación, en toda la línea de la palabra, es un fenómeno que cuando acaece tiene lugar como ruptura, crisis y revolución. La bibliografía sobre la historia y filosofía de la ciencia, por ejemplo, está llena de ejemplos y casos al respecto. Esto quiere decir que la innovación no es, en manera alguna, un fenómeno normal sino, por el contrario, consiste en la generación de bifurcaciones, transiciones de fase, en fin, inflexiones en el conocimiento y en las organizaciones del conocimiento, tanto como en las relaciones entre el conocimiento las instancias, organizaciones e instituciones de toda índole y orden. Las instituciones ya se han enterado o se están enterando acerca de las ciencias de la complejidad. Pero no han llegado a cooptarlas; lo intentan, pero aún no es posible. Y una razón para esta imposibilidad es el hecho de que la complejidad implica cambio, transformación, innovación, ruptura y quiebres, por definición, no controlables. En una palabra, mientras que la ciencia normal es ciencia de control y manipulación, las ciencias de la complejidad se definen como la antípoda de la manipulación y el control.

5. ¿QUÉ CLASE DE REVOLUCIÓN CIENTÍFICA SON LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD?

Queda dicho: las ciencias de la complejidad no son ciencias del control o de la manipulación. Por el contrario, son ciencias que se definen directamente en función de grados crecientes de libertad.

En complejidad, como sostuve al comienzo, los grados de libertad de un fenómeno o sistema consisten en el número de parámetros necesarios o posibles, según el caso, para comprender o explicar un fenómeno. Sin embargo, la dificultad estriba en el hecho de que mayor número de variable no significa, en modo alguno, mayor complejidad; en numerosas ocasiones lo contrario es incluso el caso. Un ejemplo particular puede ser el manejo de un aeropuerto o del sistema de semáforos de una ciudad. Extrapolando el argumento, digamos que los fenómenos complejos exhiben miles, incluso millones de variables. Y la mejor manera de trabajar con un número tan alto de variables es mediante el modelamiento y la simulación.

La complejidad de un fenómeno es, por tato, directamente proporcional a los grados de libertad que tiene o que exhibe un sistema, de tal suerte que a mayores grados de libertad mayor complejidad, e inversamente, a menores grados de libertad menos complejidad. Como es sabido, el concepto de grados de libertad procede originariamente de la física y las matemáticas, pero cuando es traslapado al ámbito de las ciencias sociales y humanas se vuelve magníficamente sugestivo.

En eso consiste, por lo demás, la innovación, a saber: en generar o crear o en trabajar y ampliar con mayores grados de libertad que los previamente disponibles. Con una salvedad, quien innova no obedece normas o principio, y por el contrario, rompe tradiciones y usanzas. Fue el caso de Galileo o Descartes con el medioevo; fue el caso de Hook con respecto a la tradición alquimista; fue el caso de Pasteur con respecto al concepto centenario o casi milenar de generación espontánea; fue el caso de Einstein con respecto a la física newtoniana. El progreso humano consiste, así, en una apropiación de la historia, para transformarla de manera decidida y sorpresiva.

Las ciencias de la complejidad implican de cara a la tradición o al pensamiento normal predominante una novedad, en primer lugar en el lenguaje. Nuevos conceptos y metáforas se crean o acuñan para designar los nuevos fenómenos de que se trata, a saber, los fenómenos y sistemas no-lineales, autoorganizados, emergentes de complejidad creciente.

Organizacionalmente, el origen de las ciencias de la complejidad se remonta, a la fecha, a alrededor de treinta años cuando se crean los primeros Centros

e Institutos dedicados al estudio e investigación de la complejidad: el *Center for Studies of Nonlinear Dynamics* en el Instituto La Jolla (1978), el *Santa Cruz Institute for Nonlinear Science* en los años 1980s, el *Center for Nonlinear Studies* en el Laboratorio Nacional de los Álamos (1980), y el *Santa Fe Institute* fundado en 1984. Esto es, demográficamente, llevamos una generación y media educando e investigando, divulgando y produciendo en el ámbito de este conjunto o grupo de ciencias, disciplinas, teorías, lenguajes, métodos, metodologías, aproximaciones y lenguajes cuyo rasgo distintivo es la no-disciplinariedad. Atávicamente diríamos interdisciplinariedad.

Exactamente en este sentido, las ciencias de la complejidad implican una revolución consistente en *indisciplinar* el conocimiento, las instituciones el Estado y la sociedad. Esta indisciplinarización significa exactamente dejar de pensar en términos de disciplinas, ámbitos, campos o áreas, todos los cuales son rezagos de corte eminentemente feudal.

Pues bien, la primera enseñanza al respecto consiste en el reconocimiento explícito de que la ciencia y las disciplinas no tienen ya, en absoluto, ningún objeto. Contra la tradición clásica que sostenía que la ciencia se caracteriza(ba) por tener un método propio, un lenguaje, una tradición, un ámbito y un modo propio de organización, las ciencias de la complejidad ponen abiertamente sobre la mesa, a plena luz del día, que la buena ciencia de punta hoy no se define por tener objetos sino, mejor y más radicalmente, por tener problemas. Se es científico o científica no por tener objetos de trabajo o ámbitos de estudio. Por el contrario, se es científico o científica por que se tienen problemas.

Pues bien, los más importantes, apasionantes, difíciles y sensibles de los problemas a los que la humanidad, la sociedad, la ciencia y la cultura se enfrentan hoy en día son *problemas de frontera*. Un problema se dice que es de frontera cuando interpela o bien convoca a diferentes métodos, tradiciones, lenguajes y disciplinas. Aquellas ciencias, disciplinas y teorías que se fundan en y trabajan con problemas de frontera son ciencias (o disciplinas) como *síntesis*.

De esta suerte, contra la tradición que sostenía que el progreso en el conocimiento tiene lugar como acumulación de elementos –en educación la inmensa mayoría de currículos y programas son eminentemente lineales y acumulativos–⁷ las ciencias de la complejidad pueden ser entendidas como esa clase de ciencias que son bifurcaciones y rupturas, al mismo tiempo que se fundan en y dan lugar a síntesis. Basta con echar una mirada desprevenida

7 Esto se expresa de manera puntual en el reconocimiento explícito de que en numerosos lugares los programas y las mayas curriculares se articulan en términos de: tal materia o seminario es pre-requisito para tal otro, o tal otro es la continuación y profundización de uno anterior.

al estado del arte en la materia alrededor de los mejores centros e institutos de enseñanza e investigación alrededor del mundo en complejidad; esto es, en ciencias de la complejidad.

Las ciencias de la complejidad indisciplinan el conocimiento y la sociedad, el Estado y las instituciones en el sentido mencionado. Pero incluso, atendiendo por ejemplo, a la obra de Foucault, las ciencias de la complejidad indisciplinan⁸ el conocimiento, el poder, las instituciones y la sociedad en el sentido preciso que este filósofo señala en su obra. Se trata, pues, de evitar la domesticación, el amaestramiento, la docilidad y todos los mecanismos cognitivo-conductuales ampliamente vigentes y triunfantes para afirmar justamente grados de libertad y autoorganización. No escapa a una mirada sensible lo molesto que pueden resultar estos planteamientos para las buenas conciencias.

Si las ciencias de la complejidad son ciencia revolucionaria, ¿se enseña y se aprende en complejidad de la misma manera que se enseña y se aprende en la ciencia normal?, o ¿se aprende y se enseña de forma diferente? Si las ciencias de la complejidad son ciencia de nuevo tipo, si cabe la expresión –Vico (2012) decía: *nuova scienza*, en su época–, ¿se investiga en complejidad de la misma manera como se investiga normalmente en la ciencia en la corriente principal de pensamiento?, o bien ¿se investiga de otra forma?

Más aún, si las ciencias de la complejidad implican o son un nuevo paradigma que apunta hacia un contexto diferente como condición de resolución de problemas, de acuerdo con la tesis de Einstein antes mencionada, ¿los puentes entre la ciencia y la sociedad pueden y deben ser los mismos que en el caso de la ciencia normal, o bien es preciso pensar en nuevos y diferentes canales y puentes?

Como se observa sin dificultad, se trata así de problemas y retos que comportan una dimensión de profundidad y radicalidad sin iguales. Debo, por razones de espacio y motivo, dejar las respuestas a estos interrogantes para otro lugar. Se trata, de hecho, del objeto de otro texto sobre el cual mi investigación avanza en este momento.

6. CONCLUSIONES

La sociedad y el establecimiento, las instituciones y las organizaciones ya cooptaron al pensamiento complejo, a los enfoques sistémicos, a la cibernética. Políticamente estos se han vuelto inocuos. Han sido instrumentalizados y parametrizados. La fuerza de innovación y de radicalidad ya se perdió en ellos.

⁸ Esto es, sacan de las disciplinas existentes, hibridan unas con otras, se subdividen internamente y se integran también con otras, tanto en el plano metodológico como en el conceptual.

Precisamente, un problema teórico fundamental en la familia de los estudios sobre pensamiento sistémico y complejidad en general consiste en el estudio o el trabajo de elaboración en torno a criterios de demarcación. Hemos ganado mucho terreno ya en la demarcación entre ciencia normal y ciencia revolucionaria, para decirlo en el lenguaje de Kuhn. Sin embargo, aún falta mucho por ahondar en criterios de demarcación en torno a la familia del pensamiento sistémico y del pensamiento complejo relativamente a las ciencias de la complejidad. Hemos comenzado a trabajar en esta dirección en otro lugar. Pero aquí, solo debe quedar como una indicación general.

Nuestro interés ha sido aquí el de discutir qué es un sistema complejo, un asunto que no parece obvio ni trivial como se aprecia a partir de las reflexiones anteriores.

Huelga decir que no todos los sistemas fenómenos y comportamientos son complejos. Mientras el mundo, la sociedad o la vida no sea compleja, para numerosos efectos, tanto mejor. Pero cuando las cosas son, o bien se vuelven o se hacen complejas, tenemos a la mano una serie de ciencias –que se componen a su vez de disciplinas, teorías y demás–, que hacen de esto su interés central.

Lo maravilloso es que si bien no existe ninguna tendencia y, ciertamente no a priori, de complejización creciente de las cosas, sí cabe pensar, anticiparse, investigar y prepararse, en la medida de lo posible, a vivir en tiempos de turbulencia y en contextos de inestabilidad. Literalmente, como enseñara Heráclito, el Oscuro de Éfeso: “Si no se espera lo inesperado no se lo hallará, dado lo inhallable y difícil de acceder a lo que es” (Frag. 729, 22 B 18).

La cultura y la historia tradicionalmente desconocieron, despreciaron o dejaron de lado, con diversos argumentos, las cosas que se hacían complejas, o bien que eran complejas. En nuestro tiempo, por primera vez en la historia de la humanidad disponemos de una batería de herramientas, por así decirlo –herramientas conceptuales, computacionales, matemáticas, lógicas, epistemológicas y otras– que nos permite *aprovechar* (*harnessing*) la complejidad (Axelrod & Cohen 2001) y vivir con ella, en lugar de simplemente descartarla.

Al fin y al cabo, el más apasionante, el más complejo de todos los fenómenos y sistemas, el más sensible y determinante desde cualquier punto de vista es la vida, los sistemas vivos; de los que nosotros somos solamente un componente, y acaso no el más determinante.

Si ello es así, se hace imperativo el buen conocimiento, el sólido estudio, la reflexión, la crítica también, la formación, la educación y la investigación en torno a los sistemas complejos. Para ello tenemos a la mano ese conjunto sugestivo: las ciencias de la complejidad. Un medio idóneo, reciente y algo difícil

gracias al cual nos proponemos afirmar, exaltar, gratificar y hacer posible, cada vez más, la vida en el planeta; la vida conocida, tanto como la vida por conocer, la vida tal y como es, tanto como la vida tal-y-como-podría-ser.

TRABAJOS CITADOS

- Andrade, E. “La vigencia de la metafísica evolucionista de Pierce”. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, Vol. 14, No. 28 (2014): 83-121.
- Axelrod, R. & Cohen, M. C. *Harnessing Complexity. Organizational Implications of a Scientific Frontier*. Basic Books, 2001.
- Baadi, R. & Politi, A. *Complexity. Hierarchical structures and scaling in physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- Ben-Naim, A. *La entropía desvelada. El mito de la segunda ley de la termodinámica y el sentido común*. Barcelona: Tusquets, 2011.
- Gell-Mann, M. *El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo*. Barcelona: Tusquets, 2003.
- Holland, J. *Complexity. A very short introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- Horgan J. “From Complexity to Perplexity”. *Scientific American*, June, 1995, disponible en: <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/hogan.complexperplex.htm>
- Lombardi, O. & Labarca M. “Los enfoques de Boltzmann y Gibbs frente al problema de la irreversibilidad”. *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*, Vol. 37, No. 111 (2005): 39-81.
- Maldonado, C. E. “Las Revoluciones Científicas y los Estudios CTS como Unidad de Ciencia: Sus alcances para América”, No. 7, UTEM, 2012, en: <http://thelos.utem.cl/2012/12/las-revoluciones-cientificas-y-los-estudios-cts-como-unidad-de-ciencia-sus-alcances-para-america/>
- . *Termodinámica y complejidad. Una introducción para las ciencias sociales y humanas*. Bogotá: Ed. Desde Abajo. 2012 (2ª ed.).
- Maldonado, C. E. & Gómez-Cruz, N. “Synchronicity Among Biological and Computational Levels of an Organism: Quantum Biology and Complexity”. *Procedia Computer Science*, 36, (2014): 177-184. DOI: 10.1016/j.procs.2014.09.076,

- . “Modelamiento y simulación de sistemas complejos”. Bogotá, *Facultad de Administración, Universidad del Rosario* No. 66, ISSN 0124-8219, Febrero, (2010): 1-32.
- Mitchell, M. *Complexity. A guided tour*. Oxford: Oxford University Press, 2009.
- Nicholis, G. & Prigogine, I. *La estructura de lo complejo. En el camino hacia una nueva comprensión de las ciencias*. Madrid: Alianza, 1994.
- Odifredi, P. *La matemática del siglo XX. De los conjuntos a la complejidad*. Buenos Aires: Katz, 2006.
- Page, S. E. *Diversity and Complexity*. Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2006.
- Rada, E., (Edición de). *La polémica Leibniz Clarke*. Madrid: Taurus, 1980.
- Reynoso, C. *Modelos o metáforas: Crítica del paradigma de la complejidad de Edgar Morin*. Buenos Aires: sb, 2009.
- Scott, A. C. *The Nonlinear Universe. Chaos, Emergence, Life*. Springer Verlag, 2007.
- Serres, M., (ed.). *Historia de las ciencias*. Madrid: Cátedra, 1991.
- Thom, R. *Estabilidad estructural y morfogénesis. Ensayo de una teoría general de los modelos*. Barcelona: Gedisa, 1996.
- Vico, G. *Principios de una nueva ciencia*. México, D. F.: F. C. E, 2012.
- Zwirn, H. P. *Les systèmes complexes. Mathématiques et biologie*. Paris: Odile Jacob, 2006.